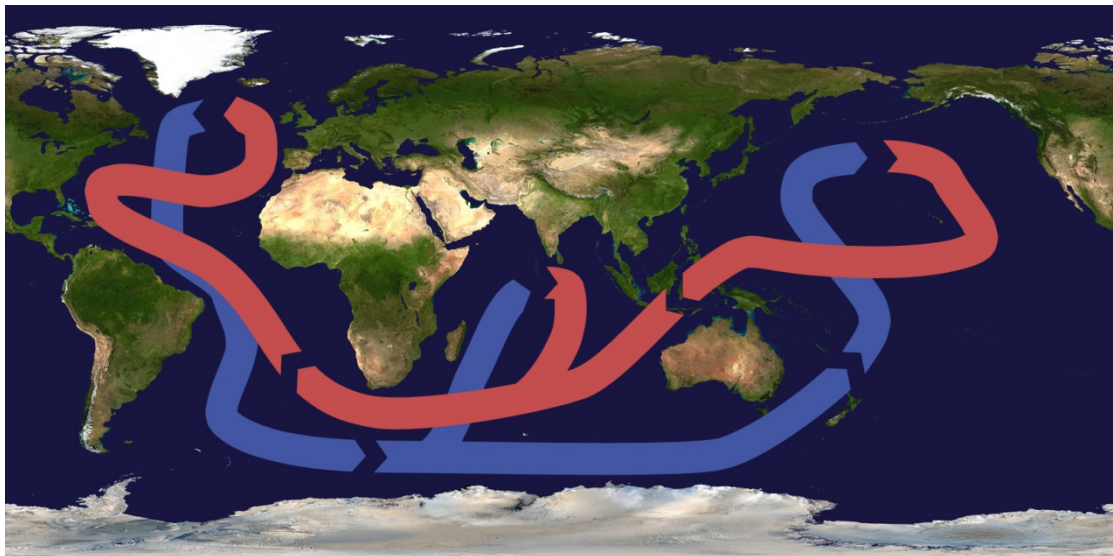


Γεγονότα Dansgaard-Oeschger

Πολυχρόνης Χρήστος



Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	3
2. Περιγραφή.....	4
3. Αίτια.....	8
3.1. Εσωτερικές δυνάμεις. Το μοντέλο “αύξησης-εκκένωσης” (binge-rurge).....	8
3.2. Εξωτερικοί Παράγοντες.....	9
4. Επίλογος.....	10
5. Αναφορές.....	11
5.1. Άρθρα.....	11
5.2. Βιβλία.....	12
5.3. Ιστοσελίδες.....	12

1. Εισαγωγή

Η πρόβλεψη τη μεταβολής κλίματος είναι καθοριστικό κομμάτι για τον προγραμματισμό της ανθρώπινης δραστηριότητας και μακροχρόνια την επιβίωση του ανθρώπινου γένους. Καθώς οι περισσότεροι κλάδοι της ανθρώπινης δραστηριότητας (καλλιέργειες, αλιεία, μεταφορές) επηρεάζονται άμεσα από τις κλιματικές μεταβολές. Για την καλύτερη πρόβλεψη των κλιματικών μεταβολών πρέπει να υπάρξει καλύτερη κατανόηση των διεργασιών που τις διέπουν. Ένας κλάδος για τον οποίο δεν έχουμε καλή κατανόηση για τις ακριβείς διεργασίες που τον διέπουν είναι οι απότομες κλιματικές μεταβολές.

Με τον όρο απότομη μεταβολή του κλίματος έχουμε συνδέσει κατ'εξοχήν την ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα. Απότομες μεταβολές όμως παρατηρούνται πολύ πριν την εμφάνιση του ανθρώπου και της έντονης επίδρασης του στην ισορροπία του γήινου συστήματος.

Τέτοιου είδους μεταβολές αποτελούν:

Η "Νεότερη Δρυάδα" (Younger Dryas), κατά την οποία παρατηρήθηκε ραγδαία επιστροφή σε παγετώνιες συνθήκες σε βορινά πλάτη 12,8 με 11,5 χιλιάδες χρόνια πριν.

Το θερμικό μέγιστο "Παλαιόκαινο-Ηώκαινο" (Paleocene-Eocene) που παρατηρήθηκε 55 εκατομμύρια χρόνια πριν με έντονη θέρμανση του πλανήτη, που συνοδεύτηκε με εξαφάνιση πολλών ειδών και διατάραξη του κύκλου του διοξειδίου του άνθρακα.

Το γεγονός εξαφάνισης της Πέρμιας-Τριαδικής περιόδου (Permian-Triassic) στο οποίο περισσότερο από το 95% των ειδών της γής εξαφανίστηκε και το οποίο συνδέεται με έντονες κλιματικές αλλαγές. Συνέβη πριν από 251,4 εκατομμύρια χρόνια και χρειάστηκε 30 εκατομμύρια χρόνια ώστε η βιοποικιλότητα στην γη να επανέλθει σε πρωηγούμενα επίπεδα.

Γεγονότα Heinrich παρατηρήθηκαν κατά την τελευταία παγετώνια περίοδο όπου μεγάλες ποσότητες πολικού πάγου αποκόπηκαν από τον βόρειο πόλο και διέσχισαν τον Ατλαντικό μειώνοντας την αλατότητα του ωκεανού με γλυκό νερό και μεταβάλλοντας το ρεύμα του Βορείου Ατλαντικού που οδηγείται κυρίως από την θερμοκρασία και πυκνότητα του νερού.

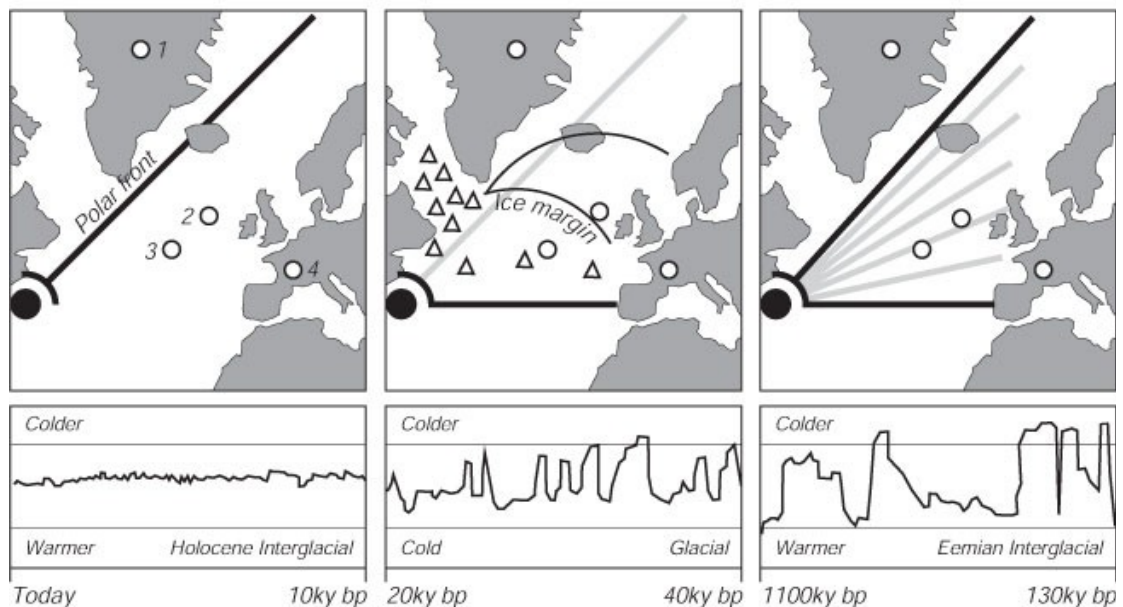
Γεγονότα Dansgaard-Oeschger (D-O), τα οποία είναι ραγδαίες κλιματικές μεταβολές που την τελευταία εποχή των παγετώνων επαναλήφθηκαν 25 φορές. Στο βόρειο ημισφαίριο εμφανίζονται με απότομη θέρμανση σε εύρος δεκαετιών και σταδιακή ψύξη σε βάθος εκατοντάδων ετών κατά την διάρκεια της οποίας το πολικό μέτωπο των πάγων αυξάνεται.

Η σημαντικότητα των τελευταίων έγκειται στο ότι η κατανόηση τους μπορεί να μας βοηθήσει να προβλέψουμε καλύτερα τους μηχανισμούς που διέπουν την παγκόσμια θέρμανση και να επιβεβαιώσουμε ή να καταρρίψουμε υποθέσεις για το ποιοι παράγοντες είναι αρκετά σημαντικοί ώστε να μπορούν να επηρεάσουν τις κλιματικές συνθήκες σε παγκόσμια κλίμακα.

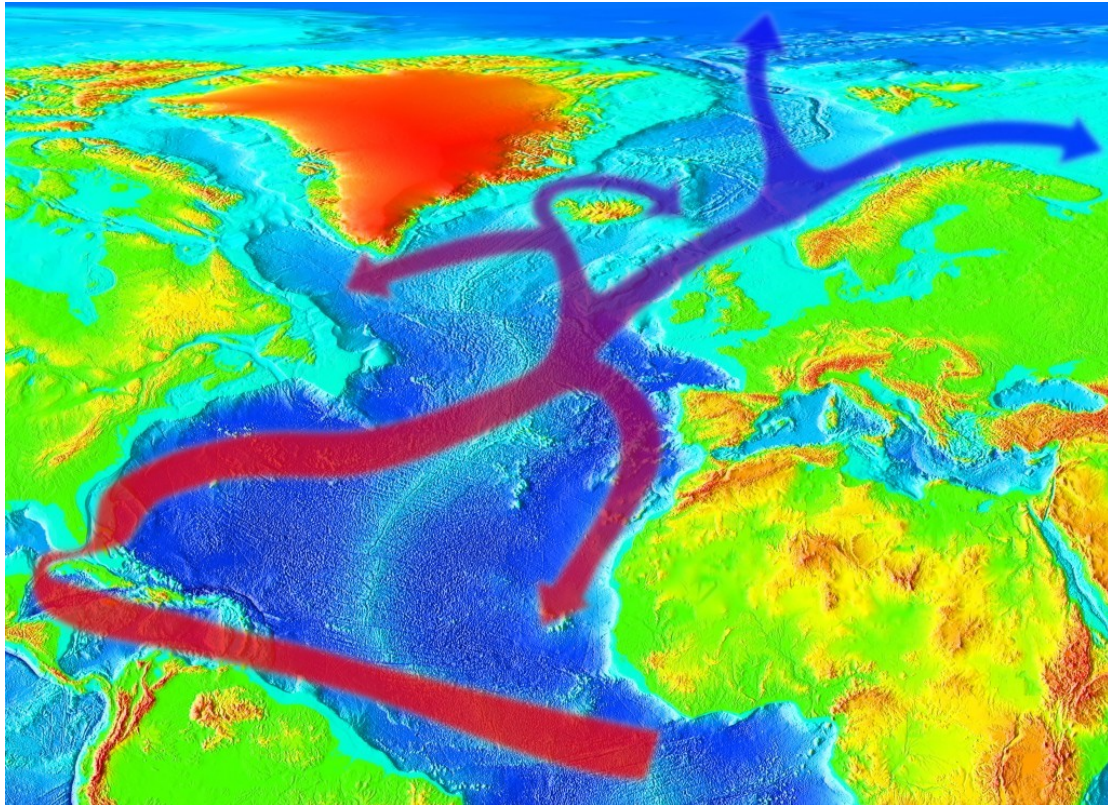
2. Περιγραφή

Καθώς τα γεγονότα Heinrich εμφανίζονται μόνο στην ψυχρή περίοδο αμέσως πριν τα εντονότερα γεγονότα D-O, θεωρούνται αλληλένδετα μεταξύ τους.

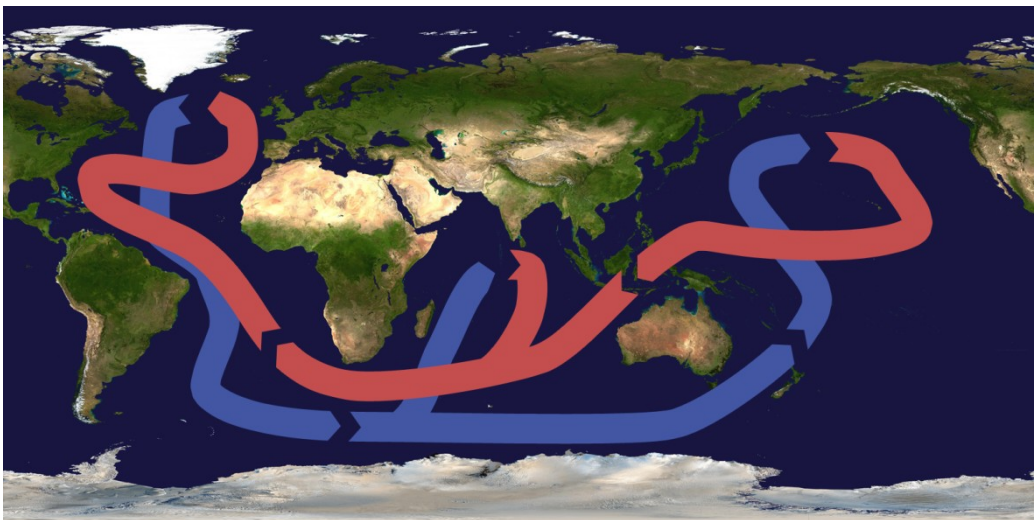
Κατά τα γεγονότα Heinrich μεγάλοι όγκοι από παγόβουνα αποκολλούνται από την αρκτική και κινούνται κατά μήκος του βορείου Ατλαντικού, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή στην αλατότητα και θερμοκρασία του νερού του Ατλαντικού και κατ'επέκταση επηρεάζεται η κυκλοφορία του νερού η οποία οδηγείται από τους δύο αυτούς παράγοντες. Στα σχήματα 2 και 3 φαίνεται η σημερινή παγκόσμια και τοπική κυκλοφορία των ωκεάνιων ρευμάτων. Με την μειωμένη αλατότητα και θερμοκρασία του νερού, μειώνονται τα ρεύματα που οδηγούν το θερμό νερό βόρεια προς την αρκτική και περιορίζουν το θερμό νερό νότια της Ισπανίας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αρχίσει πολύ απότομα σε βάθος ετών και διαρκεί περίπου 750 χρόνια.



Εικόνα 1: Φαίνονται οι περιοδικές κινήσεις παγόβουνων κατά την διάρκεια της τελευταίας παγετώνιας περιόδου. Αυτές ρύθμισαν την θερμοκρασία του βορείου ημισφαιρίου μειώνοντας την αλατότητα του βορείου Ατλαντικού και μειώνοντας την "κυκλοφορία μεσημβρινής ανατροπής" (meridional overturning circulation). Δεδομένα από πυρήνες πάγου της Γροιλανδίας, ιζήματα στο βυθό ωκεανών και ιζήματα σε αλπικές λίμνες υποδεικνύουν **ότι:** **Αριστερά:** Η πρόσφατη κυκλοφορία υπήρξε σταθερή και το πολικό μέτωπο που διαχωρίζει το θερμό από το ψυχρό νερό, επέτρεψε στο θερμό νερό να εισχωρήσει πέρα από την Νορβηγία. **Κέντρο:** Κατά την διάρκεια της τελευταίας παγετώνιας περιόδου, περιοδικές μετακινήσεις από παγόβουνα μείωσαν την αλατότητα και την "κυκλοφορία μεσημβρινής ανατροπής, οδήγησαν το πολικό μέτωπο να κινηθεί νοτιότερα και να κρατάει το ζεστό νερό νότια της Ισπανίας. **Δεξιά:** Παρόμοιες μεταβολές κατά την διάρκεια της τελευταίας μεσοπαγετώνιας περιόδου εμφανίζονται να έχουν προκαλέσει μεγάλες και ραγδαίες μεταβολές στο κλίμα. **Κάτω:** Ένδειξη της θερμοκρασίας στην περιοχή. Οι κλίμακες δεν είναι ίδιες. (Stewart, 2008, Zahn, 1994)7



Εικόνα 2: Ρεύμα Βορείου Ατλαντικού. Με κόκκινο φαίνονται τα θερμά ρεύματα νερού ενώ με γαλάζιο τα ψυχρά. Η μείωση της κυκλοφορίας κατά την διάρκεια των γεγονότων Heinrich έχει ως αποτέλεσμα να μην φτάνει ζεστό νερό στον αρκτικό κύκλο. (<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Golfstream.jpg>, CC)

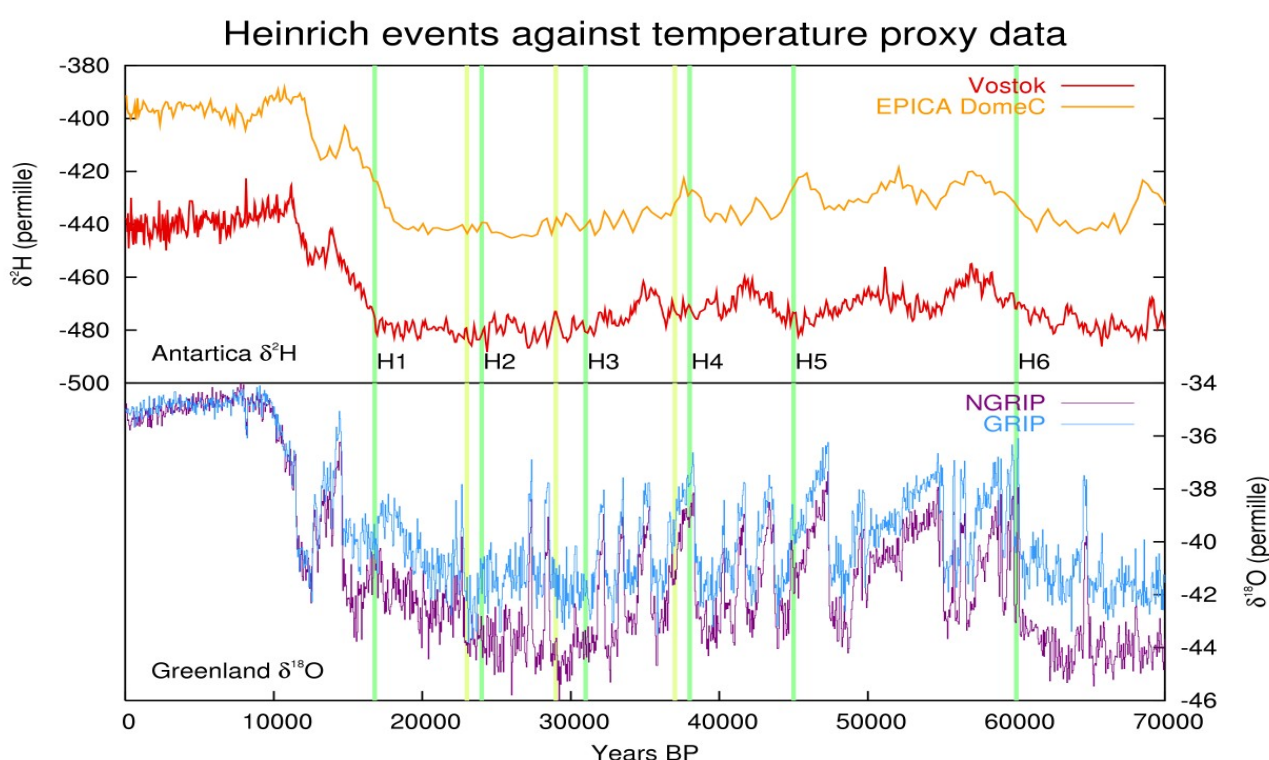


Εικόνα 3: Φαίνεται παγκόσμια κυκλοφορία των ωκεανών. Με κόκκινο φαίνονται τα θερμά ρεύματα νερού ενώ με γαλάζιο τα ψυχρά. (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermohaline_circulation.png, CC)

Τα γεγονότα D-O παρατηρούνται μέσω διαφόρων προσεγγιστικών παραμέτρων. Πιο χαρακτηριστικός παράγοντας είναι η διαφορά του οξυγόνου 18 (^{18}O) από το οξυγόνο 16 (^{16}O). Καθώς η αναλογία των δύο ισοτόπων στο νερό της βροχής εξαρτάται από την θερμοκρασία του αέρα, σε διαφορετικές αναλογίες αντιστοιχούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Δείγματα αέρα μπορούν να βρεθούν στον πάγο των πολικών περιοχών που δεν έχει λιώσει εδώ και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Μετρώντας την

διαφορά ισοτόπων του οξυγόνου και χρονολογώντας το δείγμα μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση για την μεταβολή της θερμοκρασίας στους πόλους. Δύο τέτοια δείγματα φαίνονται στα σχήματα 4 και 5 από δεδομένα από το πρόγραμμα Greenland Ice Core (GRIP) και North Greenland Ice Core (NGRIP). Εκεί φαίνονται οι απότομες θερμάνσεις και σταδιακές ψύξεις των γεγονότων D-O.

Επιπλέον ενδείξεις και στοιχεία για την ύπαρξη των γεγονότων αυτών έρχονται από την μελέτη σταλακτιτών στις Αυστριακές Άλπεις (Spotl, 2002). Και από μελέτη της γύρης, πλανκτικών και βενθικών τρηματοφόρων οξυγόνου και άλλων προσεγγιστικών παραμέτρων. (Goni, et al, 2008). Οι μελέτες αυτές έδειξαν ότι ολόκληρο το κλίμα της Ευρώπης επηρεάστηκε κατά την διάρκεια των γεγονότων αυτών.



Εικόνα 4: Με σκούρο πράσινο σημειώνονται τα γεγονότα D-O σε παράθεση με τα γεγονότα Heinrich τα οποία επισημαίνονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα. **Επάνω:** Προσέγγιση της θερμοκρασίας στην Ανταρκτική μέσω των επιπέδων υδρογόνου. **Κάτω:** προσέγγιση της θερμοκρασίας στην Γροιλανδία μέσω της διαφοράς οξυγόνου 18-16. Στο γράφημα φαίνεται ότι τα γεγονότα D-O επηρεάζουν πολύ πιο έντονα το βόρειο ημισφαίριο.

(red) Vostok data:

<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/vostok/deutnat.txt>

(orange) EPICA DomeC Data:

ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc_dd.txt

(purple) GRIP data: <http://www.glaciology.gfy.ku.dk/data/grip-ss09sea-cl-50yr.stp>

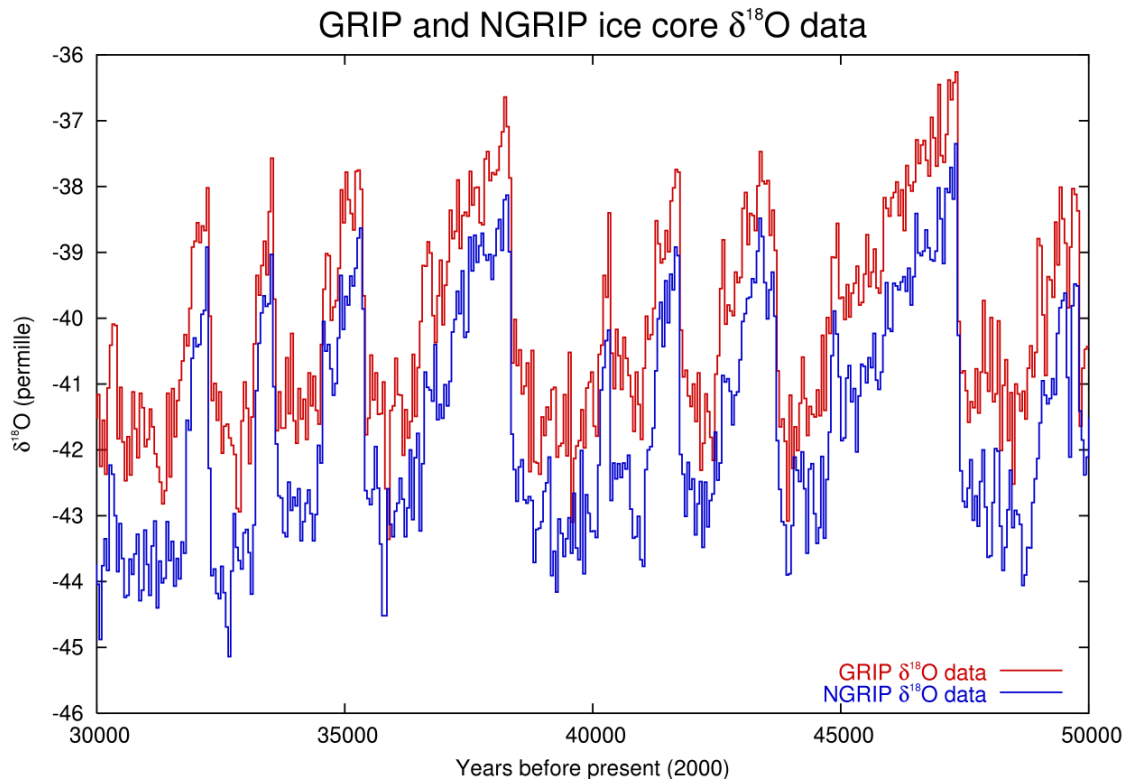
(pale blue) NGRIP data:

http://www.glaciology.gfy.ku.dk/data/NGRIP_d18O_50yrs.txt

(pale green) Hemming estimates for Heinrich events

(lime green) Bond estimates for Heinrich events

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heinrich-events.png>, CC)



Εικόνα 5: Παρουσιάζεται μεγεθυμένο το σχήμα 4 ώστε να φανεί η συσχέτιση των δεδομένων GRIP και NGRIP. (έχουν γίνει μετατροπές στην κλίμακα στα 35 και 44,5 kyr, ώστε να συμπίπτουν οι απότομες μεταβολές αλλά η διαφορά στην μετατόπιση οξυγόνου 18 είναι αληθινή. (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grip-ngrip-do18-closeup.png>, CC).

3. Αίτια

Το τι προκάλεσε τα γεγονότα αυτά είναι ακόμα υπό συζήτηση. Υπάρχουν διαφορετικές θεωρίες κάθε μια με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στην περιγραφή του φαινομένου

Μια επικρατούσα υπόθεση αφορά την επιβράδυνση της κυκλοφορίας της θερμοαλατότητας των ωκεανών. Παρόμοια με τον μηχανισμό των γεγονότων Heinrich πάγος που λιώνει από τα πολικά παγόβουνα μειώνει σταδιακά την αλατότητα και θερμοκρασία του νερού μειώνοντας την ένταση του ρεύματος του βορείου Ατλαντικού. Αυτό μειώνει την είσοδο θερμού νερού στον Ατλαντικό και οδηγεί σε σταδιακή ψύξη. Όταν το σύστημα φτάσει σε ένα κρίσιμο σημείο η εισροή γλυκού νερού μειώνεται και η αλατότητα επανέρχεται μαζί με την δημιουργία ψυχρού νερού με αυξημένη αλατότητα. Αυτό οδηγεί σε βύθιση του νερού και επαναφέρουν την ροή θερμότητας στο Ατλαντικό και με αυτή θερμαίνουν απότομα την περιοχή και την βόρεια Ευρώπη μέσω των δυτικών ανέμων.

Αυτή η υπόθεση υποστηρίζεται από ενδείξεις για αλλαγές στην δημιουργία βυθιζόμενου νερού. Μετρήσεις στον βυθό του Ατλαντικού δείχνουν ότι η βύθιση του νερού ήταν σημαντικά μειωμένη κατά την διάρκεια γεγονότων Heinrich (Shackleton et al, 2000, Elliot et al, 2002, McManus et al, 2004). Στοιχεία που να αποδεικνύουν μειωμένη βύθιση του νερού κατά την διάρκεια των γεγονότων D-O είναι πιο ασαφή αλλά είναι πιθανό η κυκλοφορία την θερμοαλατότητα να ήταν πιο αδύναμη και πιο ρηχή (Elliot et al, 2002).

Η αρχική αιτία για την απελευθέρωση φρέσκου νερού δεν έχει ακόμα αναγνωριστεί. Μία θεωρία εικάζει ότι μικρές αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να έχουν επηρεάσει τον χρονισμό στις απότομες μεταβολές (Bond et al, 2001). Μια άλλη πρόταση είναι ότι προκαλείται από φυσικές διακυμάνσεις στους παγοχιτώνες (MacAyeal, 1993; Hulbe et al; 2004; Alley et al, 2006). Τέλος προτείνεται ότι η μεταβολή στα ωκεάνια ρεύματα μπορεί να προέρχεται από εσωτερικές μεταβολές των ωκεανών (Shaffer et al, 2004; Fluckiger et al, 2006).

Καθώς τα γεγονότα Heinrich και D-O φαίνονται να είναι τουλάχιστον συσχετισμένα μεταξύ τους (αν όχι αλληλένδετα) αξίζει να μελετήσουμε τους προτεινόμενους μηχανισμούς για την δημιουργία των γεγονότων Heinrich που είναι παρόμοιοι με τους τους μηχανισμού δημιουργίας των γεγονότων D-O

3.1. Εσωτερικές δυνάμεις. Το μοντέλο "αύξησης-εκκένωσης" (binge-purge)

Με βάση το μοντέλο αυτό εσωτερικοί παράγοντες προκαλούν την περιοδική αποσταθεροποίηση σημαντικών όγκων πάγου οι οποίοι οδηγούν στα γεγονότα Heinrich.

Η σταδιακή συσσώρευση πάγου στο Λαυρεντίδιο παγοχιτώνα οδηγεί σε σταδιακή αύξηση της μάζας του (φάση αύξησης). Όταν ο παγοχιτώνας φτάσει μια κρίσιμη μάζα, τα μαλακά, μη στερεωμένα ιζήματα κάτω από το

φύλλο πάγου δημιουργούν ένα γλιστερό λιπαντικό πάνω από το οποίο το φύλλο πάγου γλιστράει, η (φάση εκκένωσης) που διαρκεί περίπου 750 χρόνια. Το αρχικό μοντέλο (MacAyeal, 1993) προτείνει ότι η γεωθερμική θερμότητα προκαλεί τα υποπαγετώνια ιζήματα. Η μαθηματική υποστήριξη του μοντέλου δείχνει ένα κύκλο 7000 ετών σε συμφωνία με τον κύκλο των γεγονότων Heinrich αν τα γεγονότα H1 και H6 θεωρηθούν γεγονότα Heinrich (Sarnthein *et al.* 2001). Αντίθετα, αν τα H3 και H6 δεν είναι γεγονότα Heinrich, το μοντέλο "αύξησης-εκκένωσης" χάνει την αξιοπιστία του, καθώς η περιοδικότητα του είναι απαραίτητη για τις υποθέσεις του. Επίσης θεωρείται ύποπτο ότι παρόμοια γεγονότα δεν εμφανίζονται άλλες παγετώνιες περιόδους (Hemming 2004), αν και αυτό μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη ιζημάτων υψηλής ανάλυσης. Επίσης το μοντέλο προβλέπει ότι η μείωση του μεγέθους των παγοχιτώνων κατά την διάρκεια της Πλειστόκαινου θα έπρεπε να μειώσει το μέγεθος, ένταση και συχνότητα των γεγονότων Heinrich, κάτι το οποίο δεν αντικατοπτρίζεται στα δεδομένα.

3.2. Εξωτερικοί Παράγοντες

Πολλοί παράγοντες εξωτερικοί των παγοχιτώνων μπορούν να προκαλέσουν γεγονότα Heinrich αλλά αυτοί οι παράγοντες θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυροί ώστε να υπερβούν τις μειωτικές επιδράσεις του τεράστιου όγκου πάγου (MacAyeal, 1993).

Ο Bond προτείνει ότι αλλαγές στην εισροή ηλιακής ενέργειας σε κλίμακα 1.500 ετών μπορεί να συσχετιστεί με τα γεγονότα D-O και Heinrich. Αλλά η μικρή κλίμακα της αλλαγής στην ενέργεια κάνει ένα τέτοιο εξωγήινο παράγοντα απίθανο να έχει προκαλέσει τόσο μεγάλες επιπτώσεις, τουλάχιστον όχι χωρίς πολύ μεγάλη θετική ανάδραση από το γήινο σύστημα. Παρόλα αυτά αντί η ίδια η θερμότητα να έλιωσε τους πάγους είναι πιο πιθανό αλλαγές στο επίπεδο της θάλασσας να συσχετίζονται με την αποσταθεροποίηση των παγοχιτών. Μία αύξηση στην στάθμη της θάλασσας θα μπορούσε να αρχίσει να διαβρώνει την βάση από έναν παγοχιτώνα, υποσκάπτοντας τον. Και όταν ένας παγοχιτώνας αστοχούσε και κυλούσε προς την θάλασσα η στάθμη του νερού θα αυξανόταν, περαιτέρω αποσταθεροποιώντας άλλους παγοχιτώνες συνεχίζοντας έτσι το φαινόμενο. Σε προάσπιση της θεωρίας αυτής είναι η μη ταυτόχρονη αποκόλληση παγόβουνων στα γεγονότα H1, H2, H4 και H5 όπου η Ευρωπαϊκή απόσπαση προηγήθηκε του λιωσίματος μέχρι και 1.500 χρόνια (Maslin *et al.*, 2001).

Το ατλαντικό μοντέλο "θερμικής πειρατείας" προτείνει ότι αλλαγές στην ωκεάνια κυκλοφορία προκαλούν θέρμανση των ωκεανών ενός ημισφαιρίου και ψύξης του άλλου. (Seidon and Maslin, 2001). Σήμερα, το ρεύμα του Κόλπου ανακατευθύνει νερά από τον ισημερινό προς της βορειότερες περιοχές των σκανδιναβικών θαλασσών. Η προσθήκη φρέσκου νερού στους βορείους ωκεανούς μπορεί να μειώσει την δύναμη του ρεύματος του Κόλπου, και να επιτρέψει την δημιουργία ενός νότια κινούμενου ρεύματος. Αυτό θα προκαλούσε ψύξη στο βόρειο ημισφαίριο και θέρμανση στο νότιο, προκαλώντας αλλαγές στην συσσώρευση πάγου και στο ρυθμό λιωσίματος και πιθανότατα θα οδηγούσε σε αυτοδιάλυση και γεγονότα Heinrich (Stocker, 1998).

Η προσθήκη φρέσκου νερού έχει εμπλακεί σε συνδυαστικά μοντέλα ωκεανού ατμόσφαιρας (Ganopolski and Rahmstorf 2001), τα οποία δείχνουν ότι και τα γεγονότα D-O και τα γεγονότα Heinrich μπορεί να δείχνουν συμπεριφορά υστέρησης. Αυτό σημαίνει ότι σχετικά μικρές αλλαγές στο φορτίο φρέσκου νερού στις Σκανδιναβικές Θάλασσες – αύξηση της τάξης 0,15 Sv, ή μείωση 0,03 Sv – θα μπορούσε να είναι αρκετή ώστε να προκαλέσει σημαντικές μετατοπίσεις στην παγκόσμια κυκλοφορία (Rahmstorf *et al*, 2005). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα γεγονότα Heinrich δεν προκαλούν ψύξη στην Γροιλανδία αλλά νοτιότερα, κυρίως στον υποτροπικό Ατλαντικό, ένα εύρημα που υποστηρίζεται από τα περισσότερα διαθέσιμα παλαιοκλιματικά δεδομένα. Αυτή η ιδέα συνδέθηκε με τα γεγονότα D-O από τους Maslin *et al*, 2001. Προτείνουν ότι κάθε παγοχιτώνας έχει τις δικές του συνθήκες σταθερότητας, αλλά ότι όταν λιώνει, η εισροή του φρέσκου νερού είναι αρκετή να επαναριθμήσει τα ωκεάνια ρεύματα – δημιουργώντας λιώσιμο αλλού. Πιο συγκεκριμένα, τα ψυχρά γεγονότα D-O και η εισροή φρέσκου νερού μειώνουν την δύναμη του ρεύματος του Βορείου Ατλαντικού αποδυναμώνοντας την κυκλοφορία του βορείου ημισφαιρίου και οδηγώντας σε μεταφορά θερμότητας προς τον νότιο πόλο. Αυτό το θερμότερο νερό οδηγεί σε λιώσιμο του πάγου στην Ανταρκτική, και επομένως σε μείωση της έντασης, στρωματοποίησης και πυκνότητας του ρεύματος του Βυθού της Ανταρκτικής. Αυτό επιτρέπει στο ρεύμα του Βορείου Ατλαντικού να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάσταση του, οδηγώντας σε λιώσιμο στο βόρειο ημισφαίριο και σε ένα ακόμα ψυχρό επεισόδιο D-O. Εν τέλει, η συσσώρευση λιωμένου νερού φτάνει σε ένα όριο, όπου αυξάνει την στάθμη της θάλασσας αρκετά ώστε να υποσκάψει το Λαυρεντίδιο φύλλο πάγου – δημιουργώντας ένα γεγονός Heinrich και επαναφέροντας τον κύκλο.

Οι Hunt και Malin (1998) πρότειναν ότι τα γεγονότα Heinrich δημιουργούνται από σεισμούς που ενεργοποιούνται κοντά στα άκρα των παγετώνων από έντονο λιώσιμο των πάγων.

4. Επίλογος

Ως συμπέρασμα της μελέτης του φαινομένου φαίνεται η ισορροπία πάνω στην οποία είναι στημένοι οι παγκόσμιοι γεωχημικοί κύκλοι και το πόσο εύκολα επηρεάζονται. Φαινομενικά μικρές μεταβολές μπορούν να ενισχυθούν από φαινόμενα εσωτερικής ανάδρασης και να αποσταθεροποιήσουν πολύ μεγάλα συστήματα τα οποία με την σειρά τους να αποσταθεροποιήσουν ακόμα μεγαλύτερα συστήματα.

Κατά την μελέτη των γεγονότων αυτών φαίνεται ξεκάθαρα η αλληλεπίδραση πολλών διαφορετικών συστημάτων και είναι προφανής η ανάγκη κατανόησης πολλαπλών πεδίων για την πλήρη επεξήγηση τους. Αλλά εν τέλει το αποτέλεσμα είναι ότι αποκομίζεται γνώση η οποία έχει εφαρμογή στην σύγχρονη δραστηριότητα.

5. Αναφορές

5.1. Άρθρα

Alley R.B., Dupont T.K., Parizek B.R., Anandadrishnan S., Lawson D.E., Larson G.J., Evenson E.B., Outburst flooding and the initiation of ice-stream surges in response to climatic cooling: a hypothesis, 2006, Geomorphology , Issue 75, Pages:76-89

Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., et al. , Persistent solar influence on North Atlantic climate during the holocene, 2001, Science, Issue 294, Volume 5549, Dec 7

Elliot M, Labeyrie L, Duplessy J.C., Changes in North Atlantic deep-water formation associated with the Dansgaard-Oeschger temperature oscillations (60-10 ka), 2002, Quaternary Science Reviews, Issue 10, Volume 21, Pages:1153-1165, DOI: 10.1016/S0277-3791(01)00137-8. , ISSN 0277-3791,

Flückiger J., Knutti R., White J.W.C., Oceanic processes as a potential trigger and amplifying mechanism for Heinrich events, 2006, Paleoceanography , Issue 21: PA2014.

Ganopolski A., Rahmstorf S., Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate mode, 2001, Nature, Issue 409, Volume 6817, Pages:153–158, DOI: 10.1038/35051500, PMID 11196631.

Goni M.F.S., Landais A., Fletcher W.J., Naughton F., Desprat S., Duprat J., Contrasting impacts of Dansgaard-Oeschger events over a western European latitudinal transect modulated by orbital parameters, 2008, Quaternary Science Reviews, Issue 11-12, Volume 27, Pages:1136-1151, DOI: 10.1016/j.quascirev, ISSN 0277-3791, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379108000759>, June 2008, 03.003

Hemming S. R., -2004, Heinrich events: Massive late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint, 2003, Rev. Geophys., Volume 42, DOI: 10.1029/2003 RG000128, RG1005

Hulbe C.L., MacAyeal D. R., Denton G.H., Kleman J., Lowell T.V., Catastrophic ice shelf breakup as the source of Heinrich event icebergs, 2004, Paleoceanography, Issue 19, PA000890

MacAyeal D. R., Binge/purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich events, 1993, Paleoceanography, Issue 8, Volume 6, Pages: 775–784, DOI: 10.1029/93PA02200,

MacAyeal D. R., A low-order model of the Heinrich event cycle, 1993, Paleoceanography , Issue 8, Pages:767-773

Maslin M., Seidov D., Lowe J., *Synthesis of the nature and causes of rapid climate transitions during the Quaternary*, (2001, Geophysical monograph, Issue 126, Pages:9–52.

McManus J.F., Francois R., Gherardi J.-M., Keigwin L.D., Brown-Leger S. , *Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional circulation linked to deglacial climate changes*, 2004, *Nature* , Issue 428, Pages:834-837

Sarnthein M., Karl Statterger D.D., Erlenkeuser H., Schulz M., Seidov D., Simstich J., Van Kreveld S., *Fundamental Modes and Abrupt Changes in North Atlantic Circulation and Climate over the last 60 ky*, 2001, *The Northern North Atlantic: a Changing Environment*, ISBN 9783540672319

Seidov D., Maslin M., *Atlantic ocean heat piracy and the bipolar climate see-saw during Heinrich and Dansgaard-Oeschger events*, 2001, *Journal of Quaternary Science*, Issue 16 , Volume 4, Pages:321–328, DOI: 10.1002/jqs.595.,

Shackleton N.J. , *The 100000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide and orbital eccentricity*, 2000, *Science*, Issue 289 , Volume 5486, Pages:1897–1902

Shaffer G., Olsen S.M., Bjerrum C.J. , *Ocean subsurface warming as a mechanism for coupling Dansgaard-Oeschger climate cycles and ice rafting events*, 2004, *Geophysical Research Letters* , Issue 31, L24202,

Spotl C., Mangini A., *Stalagmite from the Austrian Alps reveals Dansgaard-Oeschger events during isotope stage 3; Implications for the absolute chronology of Greenland ice cores*, 2002, *Earth and Planetary Science Letters*, Issue 1, Volume 203, Pages:507-518, DOI: 10.1016/S0012-821X(02)00837-3, ISSN 0012-821X, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X02008373>

Stocker T.F., *The seesaw effect*, 1998, *Science* , Issue 282, Volume 5386, Pages:61–62, DOI: 10.1126/science.282.5386.61,

Zahn R. , *Core correlations*, 1994, *Nature* , Issue 371 , Volume 6495, Pages: 289–290

5.2. Βιβλία

Stewart R.H., *Introduction to Physical Oceanography* , Department of Oceanography, Texas A&M University, 2008

5.3. Ιστοσελίδες

NOAA, last updated 20/08/2011, *A Paleo Perspective... on Abrupt Climate Change*, <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/abrupt/story.html>

Wikipedia, *last updated* 21/08/2011, Dansgaard–Oeschger event,
http://en.wikipedia.org/wiki/Dansgaard%E2%80%93Oeschger_event

Wikipedia, *last updated* 28/08/2011, Heinrich events,
http://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_events
